

⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 608 857

⑫ N° d' nregistrement national :

86 17799

⑬ Int Cl⁴ : H 02 M 3/335.

⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 19 décembre 1986.

⑯ Priorité :

⑰ Demandeur(s) : SODILEC s.a., société anonyme. — FR.

⑱ Inventeur(s) : François Forest ; Thierry Meynard.

⑲ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 25 du 24 juin 1988.

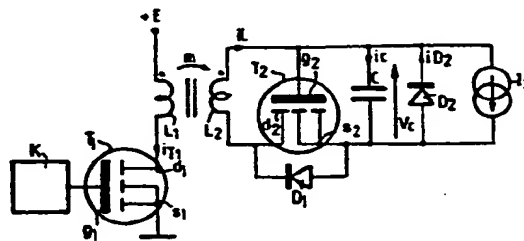
⑳ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

㉑ Titulaire(s) :

㉒ Mandataire(s) : Cabinet Moutard.

㉓ Convertisseur continu-continu du type « forward » à commutation à courant nul et à fonctionnement en courants bidirectionnels.

㉔ Convertisseur continu-continu comprenant un transforma-
teur dont le primaire L_1 est couplé à une source $+E$ par un
transistor MOS T_1 . Une diode D_1 et un second transistor MOS
 T_2 en parallèle sont connectés en série avec un condensateur
 C et le secondaire L_2 . Le second transistor MOS T_2 est
commandé directement par la tension aux bornes du conden-
sateur C . Ce convertisseur, du type « forward », commute à
zéro de courant tout en pouvant pratiquement fonctionner à
fréquence constante.



FR 2 608 857 - A1

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

- 1 -

CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU DU TYPE "FORWARD" A COMMUTA-
TION A COURANT NUL ET A FONCTIONNEMENT EN COURANTS BIDIREC-
TIONNELS.

L'invention vise à la réalisation d'un convertisseur continu-continu à faibles pertes de commutation aux fréquences élevées, qui soit de faible coût pour des puissances peu importantes, de l'ordre de la centaine de watts par exemple.

5

Elle concerne plus particulièrement un convertisseur comportant un transformateur de puissance dont l'enroulement primaire est couplé à une source de tension continue par un organe commutateur, tandis qu'un organe à conductibi-
10 lité unidirectionnelle et un condensateur sont connectés en série avec l'enroulement secondaire du transformateur, ce convertisseur étant :

- d'une part, du type "forward", c'est-à-dire dans lequel
15 les polarités sont telles que cet organe à conductibilité unidirectionnelle soit conducteur lorsque l'organe de commutation est conducteur,
- d'autre part, dans lequel l'énergie est emmagasinée sous
20 forme magnétique en utilisant l'inductance de fuite du transformateur de puissance et sous forme électrique par le condensateur, qui constitue un circuit LC avec ladite inductance de fuite,

- enfin, dans lequel le circuit de commande de l'organe de commutation est agencé :
 - d'une part, pour que l'organe de commutation soit passant pendant des cycles successifs séparés par des intervalles de temps et dont chacun se termine à un zéro de courant dudit organe de commutation,
 - d'autre part, pour que le condensateur, dont la tension est unipolaire, se décharge dans la charge pendant des fractions prédéterminées desdits cycles et sans qu'une fraction de son énergie soit restituée à l'inductance de fuite (ce qui supprime une cause de dissipation).
- 15 La commutation à zéro de courant supprime les pertes de commutation, tandis que le caractère unipolaire de la tension aux bornes du condensateur supprime le risque d'instabilité du montage.
- 20 Un convertisseur du type qui vient d'être défini est notamment décrit dans US-A-4 415 959 déposé le 20 Mars 1981 au nom de Vinciarelli. Dans ce convertisseur, l'organe à conductibilité unidirectionnelle impose l'unidirectionnalité du courant dans les deux enroulements du transformateur
- 25 et la durée de charge du condensateur est $\pi\sqrt{LC}$, L étant l'inductance de fuite du transformateur. Cette durée est une fonction lentement variable du courant dans la charge et les caractéristiques de sortie tension-courant du dispositif sont finalement fortement dépendantes dudit courant dans la
- 30 charge ; d'où résultent un certain nombre d'inconvénients qui seront exposés plus complètement dans la suite.

L'invention se propose de s'affranchir de ces inconvénients et de réaliser un convertisseur continu-continu qui cumule

35 les avantages inhérents aux convertisseurs du type défini ci-dessus et ceux du convertisseur forward classique à commutation forcée au blocage, grâce à la bidirectionnalité du courant dans les deux enroulements du transformateur.

Le convertisseur suivant l'invention est principalement caractérisé par l'adjonction d'un second organe de commutation bidirectionnel - avantageusement un transistor MOS - connecté en série avec l'enroulement secondaire du transformateur et le condensateur et commandé directement par la tension aux bornes dudit condensateur.

D'autres caractéristiques, ainsi que les avantages de l'invention, apparaîtront clairement à la lumière de la description ci-après.

Au dessin annexé :

La figure 1 est le schéma de principe d'un convertisseur conforme à un mode d'exécution préféré de l'invention ;

La figure 2 illustre les formes d'ondes en différents points du montage de la figure 1 ; et

La figure 3 représente les courbes caractéristiques de sortie d'un tel montage, comparées à celles du montage selon le brevet américain.

A la figure 1, on a représenté un convertisseur continu-continu du type "forward" comprenant :

- une source de tension continue $+E$;
- un transformateur de puissance ayant un enroulement primaire L_1 et un enroulement secondaire L_2 ;
- un organe de commutation T_1 en série avec L_1 entre les deux bornes de la source ;
- un premier organe à conductibilité unidirectionnelle D_1 en série avec L_2 et orienté pour être passant en même temps que T_1 ;
- un condensateur C en série avec L_2 et D_1 ;
- un puits de courant constant I_S ;

- un second organe à conductibilité unidirectionnelle D_2 en parallèle sur C et orienté pour empêcher l'inversion de la tension aux bornes de C (L_1 et L_2 ayant les polarités relatives indiquées par les points et la tension V_C aux bornes du condensateur la polarité indiquée par la flèche, D_2 devient conducteur dès que V_C s'annule, empêchant ainsi V_C de devenir négatif) ;
- un circuit de commande K de l'organe de commutation ;
- un second organe de commutation T_2 en parallèle sur D_1 et apte à être commandé par la tension V_C aux bornes de C.

Le transformateur de puissance est réalisé de manière telle que son inductance de fuite secondaire L soit petite vis-à-vis de la self du secondaire L_2 . L est, par définition, une inductance fictive, égale à $(L_1 L_2 - m^2)/L_1$, m étant l'inductance mutuelle entre L_1 et L_2 . Il doit être bien compris que des inductances réelles pourraient être ajoutées en série avec le primaire et/ou le secondaire : elles modifieraient alors la valeur de L.

20

Avantageusement, T_1 est un transistor MOS ayant une grille g_1 , une source s_1 et un drain d_1 . De même, T_2 est un transistor MOS ayant une grille g_2 , une source s_2 et un drain d_2 . La grille g_1 est reliée au circuit de commande K, tandis que la grille g_2 est reliée à la borne positive de C.

D_1 et D_2 sont des diodes. Le puits de courant constant I_S peut en pratique être constitué par une inductance beaucoup plus grande que L, en série avec la charge aux bornes communes de C et de D_2 et qui sera parcourue par un courant pratiquement constant pendant le cycle de transfert d'énergie du condensateur vers la charge.

A la figure 2, on a représenté en abscisses le temps t et en ordonnées :

en (a), le courant i_{T_1} à travers T_1 (sinusoïde) et la tension V_{T_1} aux bornes de T_1 ;

en (b), le courant i_L dans l'enroulement secondaire (sinusoïde) et le courant i_{D2} dans D_2 ;

en (c), le courant i_C dans C et la tension V_C à ses bornes.

5

Pendant une première phase de fonctionnement qui part de l'instant t_0 où le circuit de commande amorce T_1 , on a une croissance linéaire de i_{T1} et de i_L et une décroissance linéaire de i_{D2} . En effet, la tension induite au secondaire
 10 L_2 polarise D_1 dans le sens passant. La tension V_C reste nulle, car D_2 est polarisée dans le sens passant et débite un courant i_{D2} égal à la différence entre I_S et i_L .

A l'instant t_1 , i_L est devenu égal à I_S , si bien que i_{D2} est
 15 nul et que D_2 va se polariser en sens inverse. C commence alors à se charger.

A l'instant t_2 , V_C est chargé à une tension $mE\sqrt{\frac{C}{L}}$, le courant i_L atteint sa valeur maximum $I_S + mE\sqrt{\frac{C}{L}}$, tandis que
 20 le courant i_{T1} atteint sa valeur maximum $mI_S + m^2E\sqrt{\frac{C}{L}}$.

A l'instant t_3 , i_L devient inférieur à I_S et V_C atteint sa valeur maximum $2mE$. En outre i_C passe par zéro et change de signe.

25

A l'instant t_4 où i_L s'est annulé et change de signe, il est évident que D_1 ne peut plus conduire. Par contre, T_2 peut conduire dès l'instant, compris entre t_2 et t_4 , où V_C est positive et supérieure à la tension de seuil V_{C0} de grille
 30 du MOS. La conduction de T_2 entre t_4 et t_5 permet le passage d'un courant i_L de signe inversé, t_5 est l'instant où la tension V_C devient inférieure à V_{C0} .

La commande du blocage de T_1 par le circuit K s'effectue
 35 à l'instant du deuxième passage à zéro de i_{T1} , qu'il est facile de faire coïncider avec t_5 . L'expérience et le calcul montrent que la durée de conduction t_{CT1} de T_1 est

pratiquement indépendante de la valeur de I_S , ce qui permet d'utiliser une bascule monostable comme circuit de commande.

Le MOS T_1 devra être choisi pour que sa diode parasite ne conduise pas de courant dans le sens inverse.

On notera que dans le montage décrit, le MOS T_1 est utilisé en mode bidirectionnel (i_{T_1} s'inverse à l'instant t_4) si bien que tout problème de recouvrement avec sa diode parasite est supprimé.

Le MOS T_2 n'augmente pas la complexité du circuit de commande, du fait qu'il ne nécessite aucune commande propre, sa commande s'effectuant par la tension aux bornes du condensateur, ou par un diviseur capacitif si la tension globale est trop élevée.

Ce montage combine les avantages du convertisseur forward classique à commutation forcée au blocage à ceux du dispositif du brevet américain cité, qui sont :

- absence de pertes au blocage dans le commutateur primaire T_1 ,
- utilisation de l'inductance parasite de fuites,
- 25 - aucune surtension au blocage, ce qui est très avantageux dans le cas d'un découpage secteur,
- très faible perturbation de la commande de grille de T_1 par la commutation.

30 En effet, comme le convertisseur forward classique, le montage décrit peut pratiquement fonctionner à fréquence constante.

Pour en expliquer la raison, on se référera à la figure 3 dans laquelle on a représenté les caractéristiques V_S/mE (V_S étant la tension moyenne de sortie) en fonction de $\frac{I_S}{mE} \sqrt{\frac{C}{L}}$ (I_S étant le courant moyen de sortie) :

- en trait plein pour le montage décrit,
- en pointillés pour un montage du type décrit dans le brevet américain susvisé.

5 Les courbes 1 à 9 correspondent respectivement aux valeurs respectives 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 et 0,9 du rapport f/f_0 , f étant la fréquence de commande.

On voit que, dans le montage antérieur, les caractéristiques
10 de sortie sont fortement dépendantes de I_S . En particulier, le fonctionnement à vide est impossible à obtenir. Pour réaliser une source d'alimentation à tension fixe et à courant compris entre 0 et I_n , il faut donc utiliser de grandes variations de la fréquence de commande.

15

Dans le montage décrit, les caractéristiques de sortie sont sensiblement horizontales. Il n'y a plus de problème de
fonctionnement à vide et les variations de fréquence nécessaires au maintien d'une tension fixe de sortie sont très
20 faibles. Il en résulte que les problèmes d'asservissement du circuit de commande sont réduits, car les fonctions de transfert à utiliser sont proches de celles des alimentations classiques.

Revendications

1. Convertisseur continu-continu comportant un transformateur de puissance dont l'enroulement primaire (L_1) est couplé à une source de tension continue (+E) par un organe commutateur (T_1), tandis qu'un organe à conductibilité unidirectionnelle (D_1) et un condensateur (C) sont connectés en série avec l'enroulement secondaire du transformateur, ce convertisseur étant :

10 - d'une part, du type "forward", c'est-à-dire dans lequel les polarités sont telles que cet organe à conductibilité unidirectionnelle soit conducteur lorsque l'organe de commutation est conducteur,

15 - d'autre part, dans lequel l'énergie est emmagasinée sous forme magnétique en utilisant l'inductance de fuite (L) du transformateur de puissance et sous forme électrique par le condensateur, qui constitue un circuit LC avec ladite inductance de fuite,

20 - enfin, dans lequel le circuit de commande (K), de l'organe de commutation est agencé :

25 - d'une part, pour que l'organe de commutation soit passant pendant des cycles successifs séparés par des intervalles de temps et dont chacun se termine à zéro de courant dudit organe de commutation,

30 - d'autre part, pour que le condensateur dont la tension est unipolaire se décharge dans la charge pendant des fractions prédéterminées desdits cycles et sans qu'une fraction de son énergie soit restituée à l'inductance de fuite (ce qui supprime une cause de dissipation),

caractérisé par un second organe de commutation bidirectionnel (T_2) connecté en série avec l'enroulement secondaire

(L_2) du transformateur et le condensateur (C) et commandé directement par la tension aux bornes dudit condensateur.

2. Convertisseur selon la revendication 1,
5 caractérisé en ce que ledit second organe de commutation bidirectionnel est un transistor MOS (T_2) connecté en parallèle sur le premier organe à conductibilité unidirectionnelle (D_1) et dont la grille (g_2) est reliée audit condensateur (C).

10

3. Convertisseur selon la revendication 1 ou 2,
caractérisé par un second organe à conductibilité unidirectionnelle (D_2) connecté en parallèle sur le condensateur (C) et orienté pour empêcher l'inversion de la tension aux
15 bornes du condensateur.

4. Convertisseur selon la revendication 3,
caractérisé par un puits de courant constant (I_g) comprenant une inductance de valeur beaucoup plus grande que ladite
20 inductance de fuite, et connecté en série avec la charge aux bornes communes du condensateur (C) et du second organe à conductibilité unidirectionnelle (D_2).

5. Convertisseur selon l'une des revendications 1 à 4,
25 caractérisé en ce que le premier organe de commutation bidirectionnel est un transistor MOS (T_1).

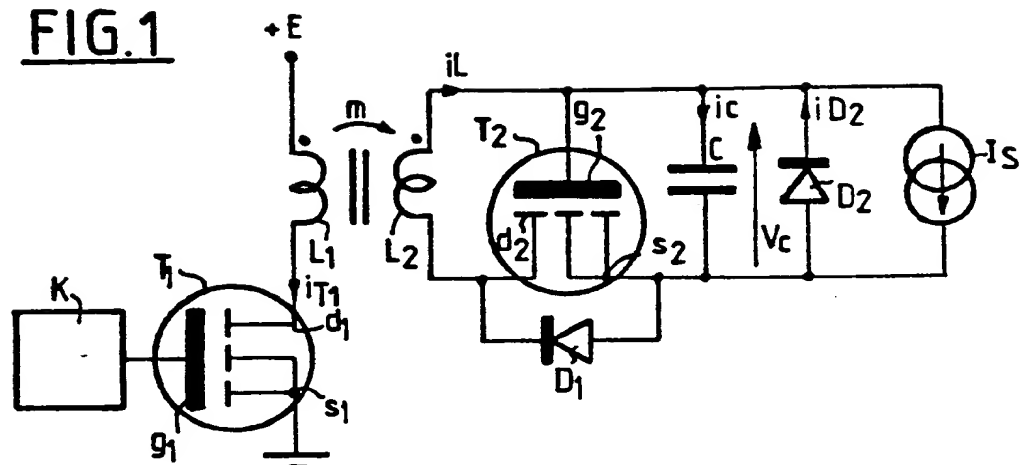
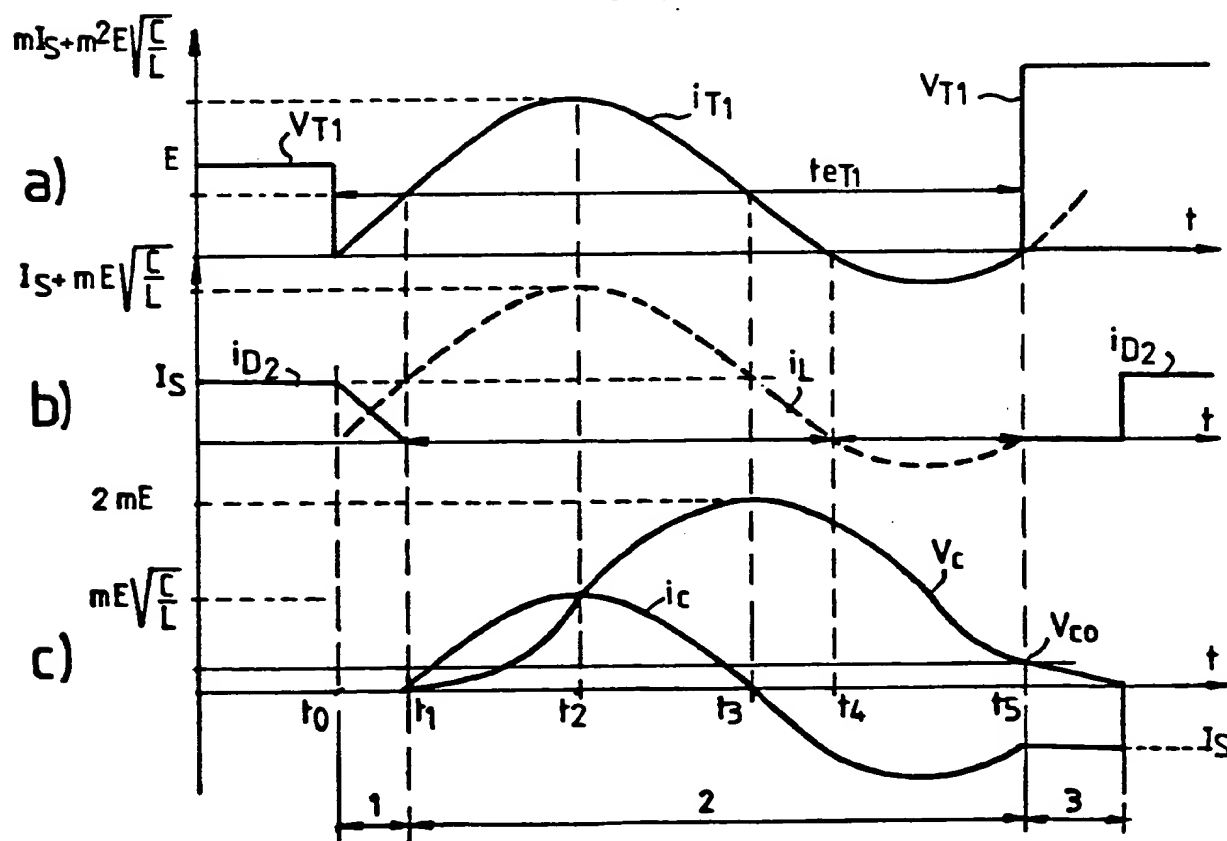
FIG. 1FIG. 2

FIG. 3

